Zeitschrift: Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural

Herausgeber: Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) = Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF)

Band: 81 (1983)

Heft: 10

Artikel: Das neue Zenitkamera-Messsystem am Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der ETH Zürich : Ein Beitrag zur astronomisch/geodätischen Messtechnik für Lotabweichungsmessungen im Gebiet der Ivrea-Zone

Autor: Bürki, B. / Kahle, H.-G. / Schmid, H.H.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-231654

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 17.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Das neue Zenitkamera-Messsystem am Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der ETH Zürich:

Ein Beitrag zur astronomisch/geodätischen Messtechnik für Lotabweichungsmessungen im Gebiet der Ivrea-Zone

B. Bürki, H.-G. Kahle, H. H. Schmid

Im Rahmen eines Projektes des Schweiz. Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung wurde in Zusammenarbeit mit der TU Hannover (BRD) mit der Konstruktion einer transportablen Zenitkamera und des dazugehörigen computergestützten Auswertesystems begonnen. Mit der in der Lotlinie ausgerichteten Apparatur werden Ausschnitte des Fixsternhimmels (im Zenit des Beobachtungsortes) fotografiert, mit dem Ziel, durch Anschluss an das Fixsternsystem die *Richtung* des örtlichen Schwerevektors (= Lotlinie) zu bestimmen. Verursacht durch verborgene Störkörper im Erdinnern sowie durch topographische Störungsmassen in der Umgebung der Station, weisen diese Richtungen Abweichungen gegenüber den Lotlinien des Erdellipsoids auf, die man als Lotabweichungen zu bezeichnen pflegt. Zusammen mit den gemessenen *Beträgen* der Schwerevektoren (Schwereanomalien) lassen sich aus den ermittelten Lotabweichungen wesentliche Verbesserungen bei der Ableitung von Strukturen der Erdkruste und des oberen Erdmantels im Untergrund der Alpen erzielen. Erste Geländemessungen sind im Herbst 1983 im Tessin vorgesehen, um dort die Einflüsse des prägnanten Ivrea-Störkörpers zu studieren.

Dans le cadre d'un projet du Fonds National Suisse de la recherche scientifique, l'Institut de Géodésie et Photogrammetrie de l'ETHZ en collaboration avec l'Université Technique d'Hannovre a commencé la construction d'une caméra zénithale transportable et le développement d'un système automatique de dépouillement des données. Une photographie d'une partie du ciel en direction de la verticale (zénith de l'observateur) permet la définition de la direction du vecteur de la pesenteur locale (= verticale) par rapport au système stellaire. La différence entre cette direction et la perpendiculaire à l'ellipsoide, spécifiée comme déviation de la verticale, est provoquée par des corps perturbateurs situés à l'intérieur de la terre ainsi que par les masses topographiques proches de la station. Les déviations de la verticale combinées avec les valeurs mesurées de la pesenteur (anomalies gravitationnelles) permettent une amélioration significative de l'interprétation des structures de la croûte terrestre et du manteau supérieur sous les Alpes. Pour étudier les influences importantes du corps perturbateur de la zone d'Ivrea, des mesures ont été prévues au Tessin en automne 1983.

1. Einleitung

Die Geoidbestimmung ist in der Schweiz durch die Arbeiten von Elmiger [1969, 1975, 1982] und Gurtner [1978, 1982] wesentlich verbessert worden. In sehr vielen Punkten können heute Geoidhöhen und Lotabweichungen mit Genauigkeiten interpoliert werden, die für die in der Praxis vorkommenden Anwendungen in den meisten Fällen ausreichen. Im Bereich grösserer Störungsmassen ist die Prädiktionsgenauigkeit jedoch stark vermindert. Dies trifft insbesondere für die südlichen Regionen der Schweiz zu, wo die Zone Ivrea–Verbano relativ grosse Anomalien des Schwerefeldes verursacht. Dort befindet sich der sogenannte Ivrea-Körper, der aus Gesteinsmaterial besteht, das der unteren Erdkruste und/oder dem oberen Erdmantel entsprechen dürfte. Ausführliche Darstellungen der Ivrea-Zone sind in Berichten von internationalen Ivrea-Symposien publiziert worden (z. B. SMPM, 1968; Memorie di Scienze Geologiche, 1979). Der Dichteunterschied zwischen dem bis an die Erdoberfläche hinaufreichenden Ivrea-Körper und dem Umgebungsgestein beträgt im Mittel 0,3 bis 0,4 gcm^{-3} [Kissling, 1980]. Die bisher für die Interpolation der Lotabweichungen verwendeten Ivrea-Modelle vermögen den Einfluss dieses Störkörpers nicht genügend zu beschreiben. Das zutreffendste Modell dürfte die von Kissling [1980] abgeleitete Tiefenstruktur sein, die mit gravimetrischen Daten und anderen geophysikalischen Beobachtungen kompatibel ist [vgl. auch Müller et al., 1980]. Für die Belange der Geodäsie ist es dringend notwendig, im Gebiet der Ivrea-Zone gezielte Lotabweichungsmessungen durchzuführen und in die Interpretation einzubeziehen.

Im Rahmen eines seit 1982 laufenden Forschungsprojekts des Schweiz. Nationalfonds (NF) wird diesem Problem im Detail nachgegangen. Das Projekt gliedert sich in 3 Teile:

(1) Konstruktion der transportablen Zenitkamera und des computergestützten Auswertesystems
(2) Geländemessungen
(3) Bestimmung der Lotabweichungen und eine geophysikalische Interpretation

Die konstruktiven Arbeiten (1) an der Zenitkamera (TU Hannover) können weitgehend als abgeschlossen betrachtet werden. Am Institut für Geodäsie und Photogrammetrie (IGP) der ETH Zürich wird zur Zeit die Software für die computergestützte Auswertung entwickelt. Die Geländemessungen (2) sind im Herbst 1983 vorgesehen und sollen im Rahmen einer Messkampagne mit internationaler Beteiligung durchgeführt werden. Dabei kommen voraussichtlich 4 Zenitkameras, je eine aus Italien (Prof. G. Birardi, Rom), eine von der Bundesrepublik Deutschland (Prof. W. Torge, Hannover), eine von Österreich (Prof. K. Rinner, Graz) und diejenige aus der Schweiz (IGP) zum Einsatz [Bürki, Kahle und Torge, 1983].

Im vorliegenden Aufsatz beschreiben und diskutieren wir im wesentlichen den Projektteil (1). Über die Messungen (2) und die geophysikalische Interpretation (3) werden wir zu einem späteren Zeitpunkt berichten.

2. Über die Bedeutung der geodätischen Astronomie im Bereich der physikalischen Geodäsie

Die Entwicklung moderner Verfahren in der Satellitengeodäsie liess die klassische Positions-Astronomie in den letzten Jahren scheinbar etwas in den Hintergrund treten. Neben den globalen Aufgaben der geodätischen Astronomie zur Bestimmung von Form und Grösse des Erdkörpers sowie von Pol- und Rotationsschwankungen ist die ‹kleinräumige› Geodäsie weiterhin auf die Astronomie angewiesen, und zwar

Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, ETH-Hönggerberg, CH-8093 Zürich
Separata Nr. 58

dort, wo das Schwerefeld der Erde grosse laterale Änderungen aufweist. Dies trifft insbesondere für den Alpenraum zu.

Zu den wichtigen Zielgrössen der heutigen Positions-Astronomie zählt die *Lotabweichung*. Unter Lotabweichung versteht man den Winkel zwischen dem ellipsoidischen (also rechnerischen) und dem physikalischen Lot. Die Abweichungen des Geoids vom Ellipsoid werden im wesentlichen durch Dichteanomalien im Erdinnern und durch die Gebirgsmassen verursacht (s. Abb. 1). Man benötigt Kenntnis über die Lotabweichungen, um die geodätischen Messungen (Strecken, Winkel, Höhendifferenzen) auf die Referenz-Rechenfläche, das Ellipsoid, zu reduzieren. Anderseits bildet die Lotabweichung die Grundlage für die astro-geodätische Geoidbestimmung. Ferner zeichnen sich auch in der Geophysik Anwendungen ab, da die Lotabweichungen Hinweise auf die Existenz, Lage und Grösse von Störungsmassen im Erdinnern liefern (Abb. 1) (s. auch Gerstbach [1979, 1980, 1982]).

Im vorliegenden Aufsatz wird ein Projekt beschrieben, das sich mit diesem Fragenkomplex beschäftigt.

3. Das Prinzip der astronomischen Ortsbestimmung mittels transportabler Zenitkameras

Aus Abb. 2 ist ersichtlich, dass die Koordinatensysteme, in denen einerseits ein Punkt P auf der Erdoberfläche und anderseits ein Stern S auf der Himmelskugel definiert werden, in erster Näherung identisch sind. Es handelt sich um Kugelkoordinatensysteme mit dem Ursprung im Schwerpunkt der Erde (= Geozentrum). Im raumfesten Sternsystem benutzt man als Ausgangsrichtung für die Längenmessung die Richtung zum Frühlingspunkt γ (= Schnittlinie zwischen Äquator- und Ekliptikebene). Im erdfesten geographischen System wird dagegen die Schnittlinie zwischen der Greenwich-Meridianebene M_{Gr} und der Äquatorebene als Ausgangsrichtung definiert. Während man im erdfesten System den Winkel Λ zwischen M_{Gr} und dem Ortsmeridian M_P als geographisch-astronomische Länge Λ bezeichnet, heisst die entsprechende Grösse im raumfesten System der Sternkoordinaten die Rektaszension α. Der astronomischen Breite Φ eines Punktes P auf der Erdkugel entspricht die Deklination δ des Sterns auf der Himmelskugel. Wenn ein Stern S zur Zeit t genau im Zenit, d. h. in der verlängerten Lotlinie des Punktes P steht, so entspricht die scheinbare Deklination δ des Sterns S der astronomischen Breite Φ des Punktes P.

Unter dem scheinbaren Ort eines Sterns versteht man dessen Position in einem geozentrischen Koordinatensystem, das sich auf den wahren Äquator und die wahre Lage des Frühlingspunktes (= wahres Äquinoktium) bezieht. Der scheinbare Ort (apparent place) ist zeitabhängig und für die wichtigsten Fundamentalsterne im Jahrbuch ‹Apparent Places of Fundamental Stars› für alle 5 Tage tabelliert [Astron. Recheninstitut, Heidelberg].

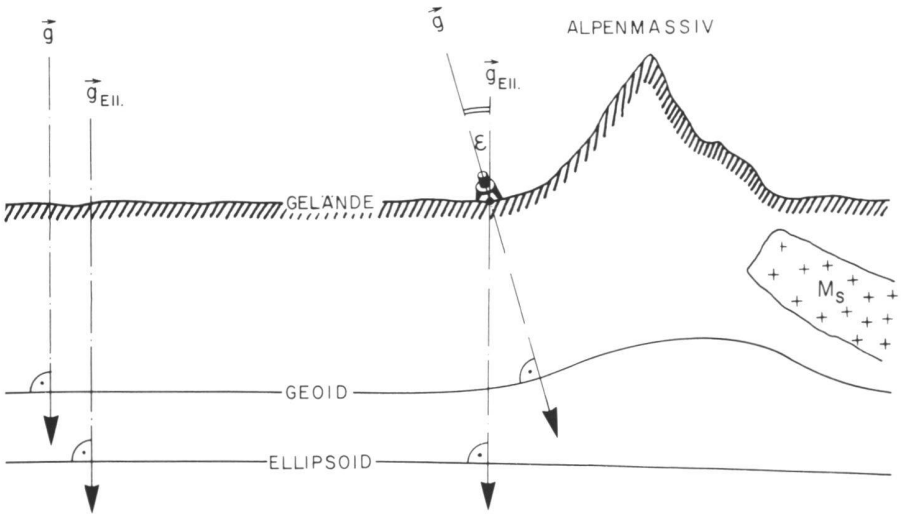

Abb. 2 Bezeichnungen zu den im Text erwähnten erdfesten und raumfesten Koordinatensystemen

P	=	Beobachtungsort auf der Erde
M_P	=	Ortsmeridian
Λ	=	astronomische Länge des Ortes P
Φ	=	astronomische Breite des Ortes P
S	=	Stern
α	=	Rektaszension } des Gestirns S
δ	=	Deklination } des Gestirns S
γ	=	Frühlingspunkt
M_γ	=	Meridian durch den Frühlingspunkt γ
M_{Gr}	=	Meridian von Greenwich
Θ_{Gr}	=	Sternzeit Greenwich

Die astronomische Länge Λ ergibt sich aus der Beziehung

$$\Lambda = \alpha - \omega t = \alpha - \Theta_{Gr}$$

mit Θ_{Gr} = Sternzeit Greenwich

α = Rektaszension des Sterns zur Zeit der Beobachtung

ω = Winkelgeschwindigkeit der Erdrotation

$$\omega = \frac{360°}{24\,h} = 15°/h = 15''/sec.$$

Hiervon ausgehend sieht das Prinzip der Zenitkameramessung folgendermassen aus: Wenn die Kamera im Lot ausgerichtet ist, kann durch Fotografie des Sternfeldes in zwei um 180° unterschiedlichen Lagen und nach Zeitnahme während den Belichtungen die Richtung der Kameradrehachse (= Lotlinie) im raumfesten Koordinatensystem der Sterne bestimmt werden (Abb. 3). Dazu muss die Fotografie auf einem Komparator ausgemessen und der Durchstosspunkt der verlängerten Kameradrehachse mit der Himmelskugel aus einer Ausgleichung iterativ berechnet werden. Um die erreichbare Genauigkeit zu steigern, werden für jede Fotografie je 4 Belichtungen in zwei Kamerapositionen durchgeführt, die sich durch eine Drehung des Kameraoberteils um 180° unterscheiden. Die beiden Kameralagen werden getrennt ausgewertet. Das Mittel aus beiden Ergebnissen ist frei von Justier-Restfeh-

Abb. 1 Die Existenz des Alpenmassivs und einer Störungsmasse M_S bewirkt nach dem Gravitationsgesetz eine Lotabweichung ε.

Richtung von $\vec{g}$	=	wahre Lotrichtung
Richtung von $\vec{g}_{Ell.}$	=	Richtung des Vektors der Normalschwere auf dem Ellipsoid
ε	=	Lotabweichung
M_S	=	Störmasse, z. B. Ivrea-Körper
Geoid	=	Fläche mit konstantem Schwerepotential

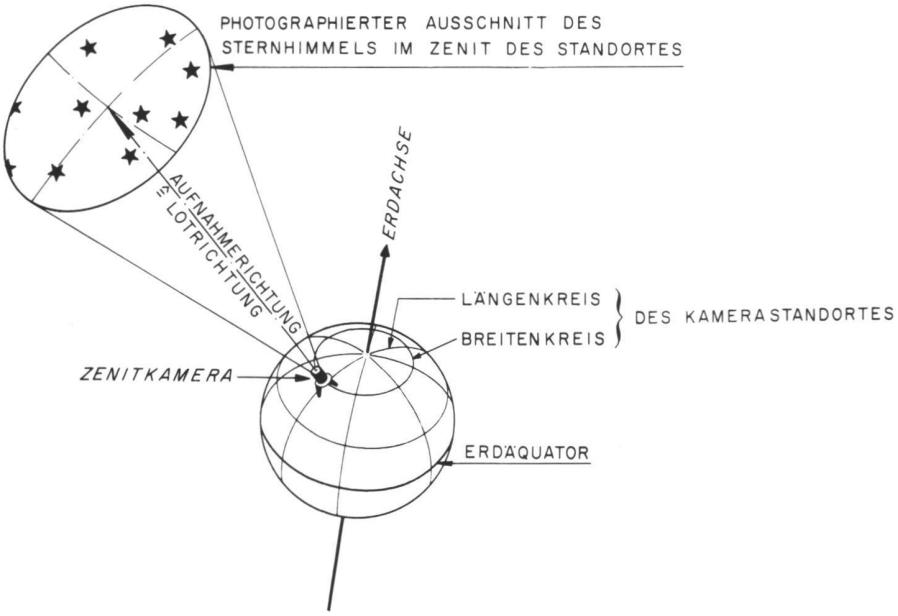

Abb. 3 Zum Prinzip der Sternfotografie mit Zenitkameras

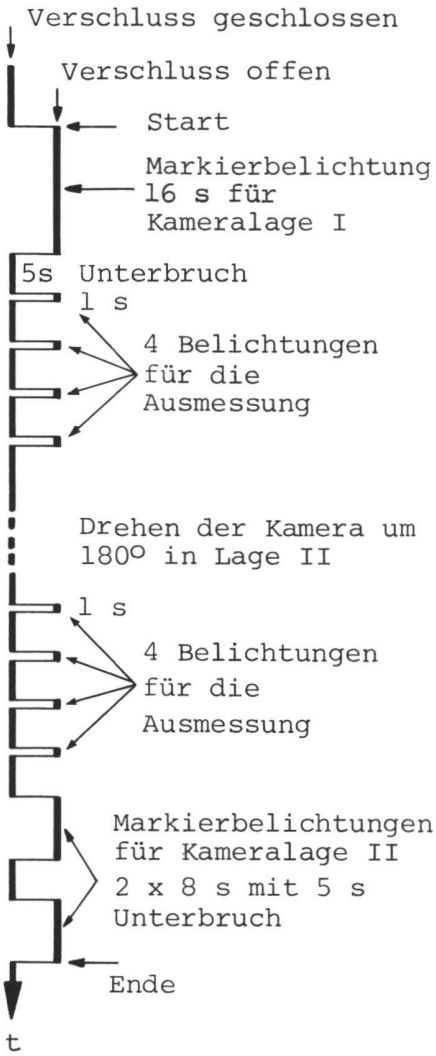

Abb. 4 Diagramm für den elektronischen Verschluss während einer Zenitkamera-Aufnahme. Die Zeit t ist auf der vertikalen Achse aufgetragen.

lern. Das Zeitintervall zwischen zwei Belichtungen beträgt jeweils 5 Sekunden; in dieser Zeit bewegt sich der Stern infolge der Erdrotation um $5 \cdot 15'' = 75''$, was bei der verwendeten Optik ($f = 1000$ mm) einer Verschiebung von $\Delta x \cong 250\,\mu$ (bei $\Phi \approx 50°$) entspricht.

Die graphische Darstellung (Abb. 4) des Belichtungsprogramms verdeutlicht den Ablauf einer Belichtung:

4. Technische Ausführung und Messverfahren der Zenitkamera

(Abb. 5)

Das Datenerfassungsgerät der Zenitkamera ist ein handelsübliches Speichergerät Datapad 661 mit dem C MOS-Mikroprozessor RCA 1802. Im Rahmen einer Semesterarbeit von zwei Studenten, Heiner Lang und Markus Gröninger, der Abteilung für Elektrotechnik der ETH Zürich (Leitung Dr. R. Zinniker) wurde für diese Anwendung eine spezielle Interface-Schaltung entwickelt, die die einzelnen Komponenten der Zenitkamera-Elektronik mit dem Speicher verbindet. Der Prozessor hat dabei die Aufgabe, den gesamten Datenfluss während des automatischen Belichtungsablaufes zu realisieren. Damit kann man auf eine konventionelle Protokollführung verzichten. Zusätzliche Daten, wie Stationsnummer, Datum, Temperatur, Luftdruck usw., können mittels Tasten eingegeben werden. Die Ablesungen der Uhr und der beiden elektronischen Libellen erfolgen automatisch. Am Schluss werden sämtliche abgespeicherten Daten wieder vom Speicher eingelesen und in übersichtlicher Form vom Einbaudrucker in Form eines Protokolls ausgegeben. Damit besteht zusätzliche Sicherheit bei einem etwaigen Datenverlust, z. B. infolge Stromausfalls. Einzelheiten dazu verdeutlicht Abb. 6.

Ein 50 m langes Spezialkabel verbindet die Kamera mit der Elektronikeinheit. Damit hat man die Möglichkeit, die

Abb. 5 Die neuste Version der an der Technischen Universität Hannover im Auftrag des IGP gebauten transportablen Zenitkamera TZK 3. Auf dem Stativ steht der Kamerakörper mit Objektiv, Drehkreis, elektronischen Libellen, Kassettenfach (unterhalb des Drehkreises) und Horizontierfüssen. Neben der Kamera befindet sich auf der Abdeckhaube die Elektronikeinheit. Sie enthält die Stromversorgung, die digitalen Anzeigen für die elektronischen Libellen, die Elektronik zur automatischen Ablaufsteuerung der einzelnen Belichtungen, die Uhr mit Präzisionsquarz, den Langwellenempfänger, einen Kleindrucker sowie ein mikroprozessorgesteuertes Datenerfassungs- und Speichergerät, welches eine Kapazität von 19 kByte aufweist.

Elektronik im Transportfahrzeug zu belassen, was für schwer zugängliche Stationen, zu denen man nicht direkt fahren kann, von grossem Vorteil ist.
Bei der optischen Komponente der Zenitkamera handelt es sich um ein Spiegellinsensystem ZEISS MIROTAR (Brennweite f = 1000 mm, Öffnung = 20 cm, Öffnungsverhältnis = 1 : 5,6). Das abgebildete Gesichtsfeld beträgt 3,6°. Die Optik vermag Sterne bis zur visuellen Grösse 10^m abzubilden, deren Koordinaten aus dem AGK-3-Katalog entnommen werden können.
Eine der wichtigsten Forderungen an das Messprinzip der Zenitkamera besteht darin, die Kamera sehr genau im Lot auszurichten. Um diese Anforderung zu erfüllen, sind seitlich des Objektivs zwei elektronische Libellen vom Typ Levelmatic 32 in rechtwinkliger Anordnung angebracht. Diese von der Firma Wyler AG (Winterthur) hergestellten Libellen verwenden einen neuartigen Neigungsgeber, der eine Auflösung von 0,04" (Alt-Bogensekunden) bei einem Bereich von ± 200" aufweist. Für die Aufnahme genügt es, die Kamera auf ca. 10" genau zu horizontieren, was bei einigermassen ruhigem und festem Untergrund ohne weiteres möglich ist. Die Restneigung wird dann bei jeder Belichtung automatisch gemessen und gespeichert (s. auch Abb. 6).
Ausser der exakten Lotausrichtung ist eine genaue Kenntnis der für die einzelnen Belichtungen geltenden Zeit (Epoche) notwendig. Für die Zeitregistrierung wird ein Langwellenempfänger benutzt, der wahlweise auf den schweizerischen HBG-Sender in Prangins (75 kHz) oder auf den deutschen Sender in Mainflingen (DCF-77, 77,5 kHz) einstellbar ist. Um auch in Gebieten mit ungenügendem oder gar ohne Zeitzeichenempfang arbeiten zu können, wurde der Uhrenteil mit einem zusätzlichen Präzisionsoszillator ausgerüstet (Gang < 1 ms/Tag). Damit genügt ein Zeitvergleich vor und nach jedem Nachteinsatz. Die Ablesung der Uhrzeiten erfolgt durch einen auf der Verschlusslamelle montierten Kontaktstift, der den Prozessor veranlasst, den momentanen Stand der laufenden Uhr abzulesen und abzuspeichern. Dabei ist es notwendig, die Charakteristik des Verschlusses zu kennen, damit aus den registrierten Zeiten der Lamellenbewegungen der Belichtungszeitpunkt für die Sternspur berechnet werden kann. Nähere Angaben dazu sind in der Arbeit von Gessler [1975] zu finden. Wenn die gesamte Speicherkapazität ausgeschöpft ist, kann der Inhalt auf normale Tonbandkassetten überspielt oder direkt vom Rechner eingelesen werden.

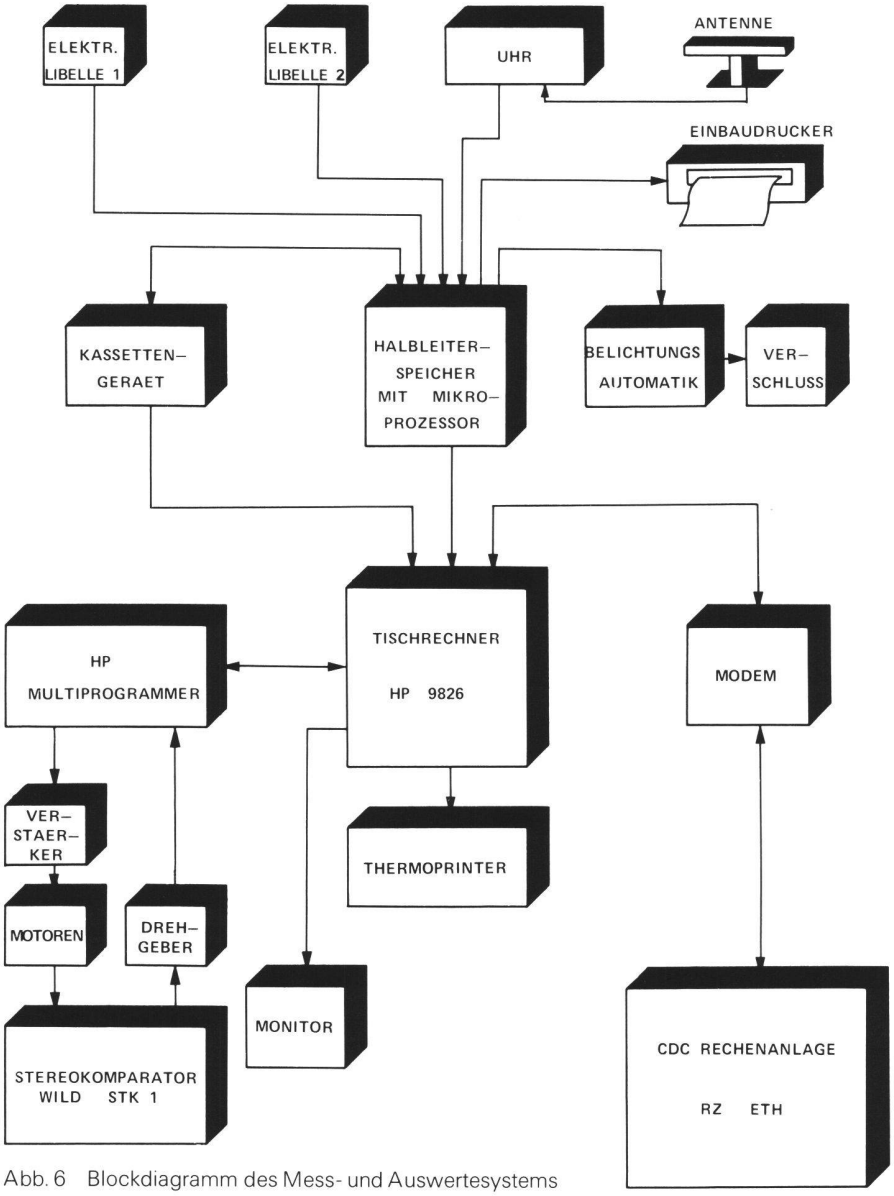

Abb. 6 Blockdiagramm des Mess- und Auswertesystems

5. Auswerteverfahren

Ein grosser Vorteil der Zenitkamera ist zweifellos die kurze Messdauer im Gelände (für gut zugängliche Punkte beträgt der Aufwand etwa 30 min). Allerdings ist damit ein grösserer Aufwand bei der Datenauswertung verbunden. Mit den Möglichkeiten der heutigen Computertechnik kann dieser Aufwand jedoch erheblich verkürzt werden. Dies wird einerseits durch den Einsatz eines Prozessors für die Datenerfassung und -übermittlung und anderseits durch den computergesteuerten Komparator erreicht.
Die Auswertung gliedert sich in zwei unabhängige Teile:
(1) Ausmessen der Film-Negative am Komparator
(2) Berechnen der Standortkoordinaten (Länge und Breite)

5.1 Ausmessen der Filme

Die einzige Möglichkeit, den Auswertevorgang zu beschleunigen, besteht darin, die Leistungsfähigkeit des Ausmessgerätes zu verbessern. Im Lehrbereich Photogrammetrie des IGP steht hierfür ein präziser Stereokomparator STK1 der Firma Wild, Baujahr 1969, zur Verfügung, der für diese Anwendung als Mono-Messgerät benutzt wird. Die Messwerterfassung ist bei diesem Gerät jedoch relativ veraltet. (Für das Registrieren eines Wertepaares benötigt die Ableseeinrichtung, die noch mit Codierscheiben, Relais und Schrittschaltwerk arbeitet, eine Zeit von rund 7 Sekunden.) Um diesen Nachteil zu beheben, wurde der Komparator mit Drehgebern für die Erfassung der Maschinenkoordinaten und mit Gleichstrommotoren für die automatische Positionierung ausgerüstet. Die Steuerung erfolgt durch einen Tischrechner HP 9826. Dieser 16-Bit-Tischrechner enthält in der jetzigen Ausbauversion

einen Arbeitsspeicher mit einer Kapazität von 455 kByte. Die Programme und Messdaten können auf Floppy-Diskette abgespeichert werden. Im weiteren ist eine Eingabe-Ausgabe-Einheit HP Multiprogrammer 6942A mit dem Rechner gekoppelt. Damit lassen sich sowohl Daten einlesen (z.B. von Drehgebern) als auch Steuersignale an externe Geräte (wie z.B. Motoren) ausgeben. Der Multiprogrammer ist mit dem Rechner durch den schnellen HP-IB Bus (IEEE-488 Norm) gekoppelt. Mit dieser Gerätekonfiguration ist eine optimale Steuerung des Ausmessvorgangs am Komparator gewährleistet: Nachdem man die Felddaten vom Speichergerät bzw. von den Kassetten in den Rechner eingelesen hat, kann das folgende Programm aufgrund von Näherungskoordinaten und mit Hilfe der übermittelten Zeiten (Epochen) für die Sternaufnahmen den Ausschnitt berechnen, der vom Sternhimmel zu dieser Zeit im Zenit präsent war. Mit dem Ansatz der gnomonischen Projektion lassen sich sodann die theoretischen Plattenkoordinaten (Standard-Koordinaten oder ebene Tangentialkoordinaten) eines jeden Sterns berechnen, der sich innerhalb des Aufnahmewinkels der Optik befindet.

Die Kenntnis der Grobkoordinaten (ξ, η) sowie der entsprechenden Komparatorkoordinaten aller Sterne innerhalb des fotografierten Aufnahmegebietes kann nun für eine schnelle Ausmessung ausgenutzt werden: Der Komparator steuert automatisch *jeden* Punkt an, in dem ein Stern voraussichtlich abgebildet sein müsste. Nach Erreichen der berechneten Position steuert der Operateur den Stern zweimal mit Handrädern genau an und registriert die Koordinaten. Entsprechend dem Ablauf einer Belichtung werden zuerst die Sternspuren der ersten Kameralage und anschliessend diejenigen der zweiten Kameralage ausgemessen. Nach Ausmessung der Aufnahme wird das ganze Programm noch einmal in einer um 180° gedrehten Lage des Negativs durchgeführt, wobei der Rechner wiederum die Position vorausberechnet und automatisch anfährt. Der Operateur kann sich vollumfänglich auf die Ausmessung konzentrieren; das Absuchen nach eventuell noch nicht erfassten Sternen entfällt. Bevor diese Messwerte zur endgültigen Auswertung vom Tischrechner zum CDC-Grossrechner übermittelt werden, muss man die Werte aus der zweiten Lage mit einer Helmert-Transformation ins System der ersten Lage überführen. Aufgrund der auftretenden Differenzen lassen sich Aussagen über die Ausmessgenauigkeit machen; die Genauigkeit einer aus zwei Lagen gemittelten Messung beträgt in der Regel 1,5–2,5 µm.

5.2 Berechnen der Standortkoordinaten durch Ausgleichung

Der letzte Schritt bei der Auswertung von Zenitkameraaufnahmen ist relativ rechenintensiv und wird an der CDC-Rechenanlage des Rechenzentrums der ETH Zürich durchgeführt. Als Eingabewerte dienen einerseits die Daten aus dem Speichergerät der Kamera mit den Libellen- und Zeitablesungen und anderseits die Datensätze aus der Komparatormessung. Die gemessenen Plattenkoordinaten, an denen vorher noch die Korrekturen für Refraktion und Verzeichnung des Objektivs anzubringen sind, müssen mit den sphärischen Sternkoordinaten (scheinbare Örter) in Beziehung gebracht werden.

Eine wichtige Aufgabe des Auswerteprogramms besteht in der automatischen Identifikation und Zuordnung der einzelnen Sterne aus dem Sternkatalog zu den gemessenen (x, y)-Wertepaaren. Für jeden gemessenen Punkt werden die sphärischen Koordinaten α' und δ' mit den umgekehrten Formeln der gnomonischen Projektion berechnet.

Jedes Wertepaar vergleicht man mit den scheinbaren Örtern sämtlicher sich im Gesichtsfeld der Aufnahme befindenden Sterne aus dem AGK-3 Katalog. (Der AGK-3 Katalog enthält ca. 180 000 Sterne der nördlichen Hemisphäre.) Ein Stern gilt als identifiziert, wenn die Abweichung a zwischen gemessenen und gerechneten Koordinaten,

$$a = \sqrt{[(\alpha' - \alpha) \cdot \cos\delta]^2 + (\delta' - \delta)^2}$$

α', δ' = aus den Komparatormessungen berechnete Sternkoordinaten

α, δ = Katalogkoordinaten,

unterhalb der Grenze von 3′ liegt.

Der Zusammenhang zwischen den berechneten und den tatsächlichen Plattenkoordinaten lässt sich durch verschiedene Transformationsansätze darstellen. Für die Zenitkamera hat sich die projektive Abbildung

$$\xi_1 = \frac{a_1 + b_1 x + c_1 y}{1 + dx + ey}$$

$$\eta_1 = \frac{a_2 + b_2 x + c_2 y}{1 + dx + ey}$$

als zweckmässig erwiesen. Nähere Angaben zu den Transformationsansätzen sind bei Gessler [1975] und Wissel [1982] zu finden. Die Ausgleichung muss schrittweise durchgeführt werden, weil das Resultat eines Ausgleichungsschritts jeweils als Näherungswert im nächsten Iterationsschritt benötigt wird. Das Verfahren konvergiert gut, deshalb genügen in der Regel 3–4 Iterationsschritte. Die so erhaltenen Parameter für die Lotrichtung beziehen sich auf die momentane Lage des Pols und müssen noch korrigiert werden. Die für die Reduktion auf den mittleren Pol CIO (Conventional International Origin) benötigten Werte werden monatlich vom Bureau International de l'Heure (BIH) in Paris veröffentlicht.

Die Lotabweichungskomponenten ξ und η erhält man schliesslich aus der Differenz zwischen den geographischen (astronomischen) und den geodätischen, auf das Ellipsoid bezogenen Koordinaten:

$$\xi = \Phi - \varphi$$

$$\eta = (\Lambda - \lambda) \cdot \cos\Phi$$

ξ = Komponente der Lotabweichung in N-S-Richtung

η = Komponente der Lotabweichung in W-O-Richtung

Φ = geographisch-astronomische Breite

φ = geographisch-ellipsoidische (geodätische) Breite

Λ = geographisch-astronomische Länge

λ = geographisch-ellipsoidische (geodätische) Länge

6. Bedeutung des Projektes

Die Berechnung von topographischen, isostatischen und Krusten-Massenmodellen in bezug auf die Bestimmung des Geoids und des Schwerefeldes der Erde (und umgekehrt) hat sich zu einem zentralen Punkt im Rahmen der wissenschaftlichen Untersuchungen der IAG entwickelt. Aus der Kenntnis des Krustenaufbaus und des Verlaufs der Krusten/Mantelgrenze können verschiedene Informationen genommen werden:

- *Hinweise auf geodynamische Vorgänge* (z.B. Verlauf der Insubrischen Linie in der Tiefe, Gebirgsbildung, Isostasie usw.).
- *Reduktion von geophysikalischen* (insbesondere gravimetrischen [Klingelé und Olivier, 1980]) *Messungen* zur Interpretation der regionalen Anomalien im Alpenraum, z.B. Schwereminima in Graubünden und im Wallis.
- *Reduktion von geodätischen Messungen* wie Richtungs-, Distanz- und Höhenwinkelmessungen sowie Berechnung von Lotabweichungen und Lotkrümmungen.

Im Einflussgebiet der Ivrea-Zone zeigt sich die Schwäche der gegenwärtig bestehenden Massenmodelle: Die Interpolation von Lotabweichungen ist dort mit relativ grosser Unsicherheit behaftet. Diese Tatsache konnte bereits aufgrund von Test-Resultaten aus einer gemeinsam mit der TU Hannover durchgeführten Zenitkamera-Kampagne (1980) in der Gegend von Locarno–Bellinzona nachgewiesen werden. Dort ergaben sich zwischen den berechneten Lotabweichungen und den tatsäch-

lich beobachteten Werten Abweichungen bis zu mehreren Bogensekunden. Die Bestimmung der Lotabweichungen ist auch von praktischer Bedeutung, z. B. für die Arbeiten des Bundesamtes für Landestopographie im Rahmen der Landesvermessung. In diesem Zusammenhang hat der Ivrea-Störkörper als Ursache von relativ grossen Lotabweichungen, Geoidundulationen und Schwereanomalien eine besondere Bedeutung. Wegen seiner Existenz entstehen Schwierigkeiten in der Geoidbestimmung und in der Prädiktion von Lotabweichungen.

Das oben beschriebene Projekt dürfte einen wesentlichen Beitrag im Rahmen der IAG darstellen. Eine spezielle Studiengruppe SSG 5.50 (Etude du Géoide en Europe Centrale et Méridionale) der IAG befasst sich schwerpunktmässig mit Lotabweichungsmessungen und deren Interpretationen (Präsident: Prof. Birardi, Rom) [Birardi, 1973; 1976; 1977; Sigl, 1979]. Zudem hat die IAG im Rahmen der letzten IUGG-Tagung (Hamburg, August 1983) die Geoidbestimmung in Gebirgszonen als Resolution beschlossen.

Das Projekt ist fachgebietsübergreifend. Es enthält Probleme der geodätischen Messtechnik, der sphärischen Positions-Astronomie und der photogrammetrischen Auswertemethodik. Ausserdem werden aktuelle Fragen der Geodynamik und Geophysik im Bereich der Ivrea-Zone behandelt. Dem Schweiz. Nationalfonds (Projekt Nr. 2.305-081) und der ETH Zürich danken wir für finanzielle Unterstützung dieses Projektes.

Referenzen

Astronomisches Recheninstitut Heidelberg. Apparent Places of Fundamental Stars. Jahrbuch.

Birardi, G., 1973. Positional photographic astronomy. Procedures and operational results with the IGN-IGM camera. Bolletino di Geodesia e Scienze Affini, 32: 273–287.

Birardi, G., 1976. The establishment of a net of vertical deflection points in Italy by means of a photoastronomical procedure. Bolletino di Geodesia e Scienze Affine, 2: 113–152.

Birardi, G., 1977. Combined Use of Doppler Devices and Photo-Astronomical cameras for the Institution of Vertical Deflection Points. Bolletino di Geodesia e Scienze Affini, 36: 499–505.

Bürki, B., Kahle, H.-G. and W. Torge, 1983. Plans for application of the Hannover-type Zenith Camera system in the Central Alpine Region. In: Birardi (ed.), Proceedings of the 2nd Int. Symp. on the geoid in Europe and the Mediterranean area. In press.

Elmiger, A., 1969. Studien über Berechnung von Lotabweichungen aus Massen, Interpolation von Lotabweichungen und Geoidbestimmung in der Schweiz.

Elmiger, A., 1975. Das Geoid in der Schweiz. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik, III/IV: 171–176.

Elmiger, A. und W. Gurtner, 1982. Astrogeodätische Geoidbestimmung und Lotabweichungs-Interpolation in der Schweiz. Geoidkolloquium in Graz, 1983.

Gerstbach, G., 1979. Geophysikalische Interpretation von Lotabweichungen in Bruchzonen. Zeitschrift für Vermessungswesen, 2: 45–51.

Gerstbach, G., 1980. Untersuchung der Tiefenstruktur des Wiener Beckens aus Lotstörungen. Kurzfassung eines Referats anlässlich des 2. Alpengravimetrie-Kolloquiums, Wien.

Gerstbach, G., 1982. Bestimmung der Sedimentdicke aus Lotabweichungen im Testfeld Wiener Becken. Zeitschrift für Vermessungswesen 8/1982.

Gessler, J., 1975. Entwicklung und Erprobung einer transportablen Zenitkamera für astronomisch-geodätische Ortsbestimmungen. Wiss. Arbeiten Landesvermessung der TU Hannover Nr. 60, 140 pp.

Gurtner, W., 1978. Das Geoid in der Schweiz. Astronomisch-geodätische Arbeiten in der Schweiz, 32: 103 pp. Ed.: Swiss Geodetic Commission.

Kissling, E., 1980. Krustenaufbau und Isostasie in der Schweiz. Ph. D. thesis, 165 pp. ETH Zürich, Diss. Nr. 6655.

Klingelé, E. und R. Olivier, 1980. Die neue Schwerekarte der Schweiz. Matér. Géol. Suisse, Sér. géophys. 20.

Memorie di Scienze Geologiche, 1979, Volume 33, 263 pp. Proceedings of the 2nd Symposium Ivrea–Verbano, 1978.

Müller, St., Ansorge, J., Egloff, R. and E. Kissling, 1980. A crustal cross section along the Swiss Geotraverse from the Rhinegraben to the Po Plain. Eclogae geol. Helv., 73/2: 463–483.

Sigl, R., 1975. Geodätische Astronomie. H. Wichmann Verlag, Karlsruhe, 369 pp.

Sigl, R., 1979. Zur Bestimmung von Lotabweichungen und Geoidhöhen im alpinen Raum. Veröffentlichungen des Finnischen Geodätischen Instituts Nr. 89: 166–174.

SMPM (Schweiz. miner. petr. Mitt.), 1968. Symposium ‹Zone Ivrea–Verbano›. Int. Upper Mantle Project. Sc. Report No. 20. SMPM, 48, Heft 1, 355 pp.

Wissel, H., 1982. Zur Leistungsfähigkeit von transportablen Zenitkameras bei der Lotabweichungsbestimmung. Wiss. Arbeiten der Fachrichtung Vermessungswesen der Universität Hannover, Nr. 107: 130 pp.

Adresse der Verfasser:
B. Bürki, Dipl. Ing., Prof. Dr. H.-G. Kahle,
Prof. Dr. H. H. Schmid
Institut für Geodäsie und Photogrammetrie
ETH-Hönggerberg, CH-8093 Zürich

Über den Einfluss der Schwere auf die Höhe

W. Embacher

Sowohl das trigonometrische als auch das geometrische Nivellement liefert Höhenunterschiede zwischen einer mathematisch definierten Bezugsfläche durch den Ausgangspunkt und der zugehörigen Parallelfläche durch den Ziel- oder Endpunkt.

Das dynamische Nivellement, d. h. die Bestimmung von Höhenunterschieden aus Schweredifferenzen, bezieht sich ebenfalls auf eine mathematisch-physikalisch definierte Fläche, auf welcher die theoretischen Schwerewerte γ_0 bekannt sind.

Diese Normalschwere γ_0 kann mit der Polhöhe φ des Messpunktes tabellarisch bestimmt werden und liefert mit der im Messpunkt bestimmten Schwere g die Differenz $(g - \gamma_0)$. Durch Messung eines zweiten Schwerewertes mit einem Höhenunterschied Δh zum Messpunkt erhält man den Differenzenquotienten $\frac{\Delta g}{\Delta h}$. Der Geländewinkel δ in der Fallinie und die Oberflächendichte σ lassen sich ebenfalls bestimmen. In der vorliegenden Arbeit wird gezeigt, wie mit diesen fünf gemessenen Werten der Höhenunterschied zwischen der oben genannten theoretischen Bezugsfläche und dem Messpunkt berechnet werden kann.

Einleitung

In der Arbeit ‹Der Abstand zweier Niveauflächen aus Vertikalwinkeln› [5] (Seite 207) hat der Verfasser gezeigt, dass die trigonometrische Höhenmessung im allgemeinen den Abstand zweier konzentrischer Kugeln gibt, deren eine den mittleren Krümmungsradius des Referenzellipsoides des zugehörigen Standpunktes hat. Für die Berechnung des Refraktionskoeffizienten ist es von Vorteil, den Krümmungsradius der Schmiegungskugel zu verwenden, der aus dem auf dem Standpunkt gemessenen Vertikalgradienten